بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی تاثیر راستای میدان مغناطیسی خارجی بر تابش طیفی پلاسمای حاصل از برهمکنش لیزر با فلز

مسعود پیشدست[۱،۲]، عبدا.. اسلامی مجد[۱]، امیر حسین فرهبد[۲]، مرضیه همتی[۳]، سید محمد رضا دربانی[۳]

[۱]دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع برق و الکترونیک، تهران

[۲]پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، تهران

[۳]دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع علوم کاربردی، اصفهان

چکیده – در این مقاله اثر راستای میدان مغناطیسی خارجی بر تابش طیفی پلاسمای حاصل از برهمکنش پالس لیزر با فلز مس مورد بررسی قرار گرفته است. برای مشاهده اثر میدان مغناطیسی بر پلاسما از دو چیدمان متفاوت استفاده شده است. در این دو چیدمان، از دو لیزر Nd:YAG به ترتیب با پهناهای پالس ۳۰ ns، ۱۵ ns و انرژی های ۱۵۰ mJ و ۱۲۰ mJ جهت تولید پلاسما و از طیف سنج نوری جهت ثبت تابش استفاده شد. از آهنرباهای دائمی ۰/۶ T و ۰/۴ T برای ایجاد میدانی یکنواخت و ایستا در پلاسما استفاده گردید. در هر دو آزمایش صورت گرفته افزایش تابش پلاسما در حضور میدان مغناطیسی مشاهده گردید. همچنین مشاهده گردید که تغییر راستای میدان مغناطیسی تاثیر بسزایی بر تابش طیفی پلاسما ندارد.

کلید واژه- پلاسما، میدان مغناطیسی، تابش طیفی

Investigation of the effect of direction of external magnetic field on spectral emission of laser induced plasma

Masoud Pishdast[1,2], Abdollah Eslami Majd[1], Amir Hossein Farahbod[2], Marziyeh Hemati[3],Seyed Mohammad Reza Darbani[3]

[1]Malek Ashtar University, Department of Electrical Engineering, Tehran

[2]Institute of Nuclear of Science and Technology, Plasma and Nuclear Fusion School, Tehran

[3]Malek Ashtar University, Department of Applied Science, Esfahan

Abstract- In this paper the effect of direction of external magnetic field on spectral emission of the plasma induced by laser and copper interaction is investigated. Two different experimental setups have been used for this purpose. Two pulsed Nd:YAG lasers with 30 ns and 15 ns pulse duration and energies 150 mJ and 120 mJ, respectively, were used to produce plasma from Cu target and a spectrometer for detecting spectral radiation of the plasma. Two pairs of permanent magnets were used to produce 0.6 T and 0.4 T steady magnetic field across the plasma. Both experiments show the obvious intensity enhancement of the spectral emission lines of Cu by applying external magnetic field. Also, experiments showed that the direction of magnetic field has no obvious effect on spectral emission of Cu plasma.

Keywords: Plasma, Magnetic Field, Spectral radiation

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

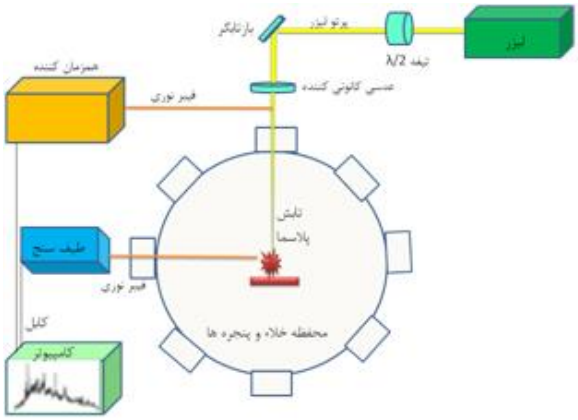
[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

۱- مقدمه

اعمال میدان مغناطیسی به پلاسمای حاصل از لیزر بسیار مورد توجه است، چرا که میدان مغناطیسی می تواند برای کنترل بهتر ویژگی های دینامیکی پلاسمای گذرا و پر انرژی استفاده شود. در همجوشی اینرسی، محصورسازی پلاسمای منبسط شونده با استفاده از میدان مغناطیسی می تواند برای کند سازی ذرات پر انرژی قبل از کاشته شدن آنها در ساختارهای اطراف استفاده گردد. همچنین نشان داده شده است که محصورسازی پلاسمای حاصل از لیزر با استفاده از میدان مغناطیسی اثر قابل توجهی در تابش طیفی پلاسمای حاصل از طیف سنجی فروشکست القاء لیزری (LIBS) دارد. LIBS ابزار تشخیصی مناسبی برای شناسایی ویژگی های پلاسما مانند دما و چگالی و همچنین شناسایی عناصر موجود در ماده است [۱]. فروشکست القاء لیزری عبارت است از تولید گاز درخشان و یونیده (پلاسما) بوسیله کانونی نمودن لیزر پر شدت بر گازها، مایعات و یا جامدات. LIBS ابزاری مناسب برای تحلیل از راه دور صنعت هسته ای (پسماند) و آشکارسازی عناصر رادیواکتیو است [۲،۳]. حضور میدان مغناطیسی در حین گسترش پلاسمای حاصل از لیزر می تواند موجب چندین پدیده جالب شود، که تبدیل انرژی جنبشی پلاسما به انرژی گرمایی، محصورسازی پلاسما، شتاب دهی یون، افزایش تابش پلاسما و ناپایداری های پلاسما برخی از این پدیده ها هستند [۱]. تاکنون آزمایش های فراوانی به منظور مطالعه اثر میدان مغناطیسی بر گسیل طیفی و گسترش پلاسمای حاصل از لیزر انجام شده است [۴،۵،۶]. در این مقاله اثر محصورسازی پلاسمای حاصل از برهمکنش لیزر با هدف مس با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی و همچنین اثر راستای اعمال میدان مغناطیسی بر تابش طیفی پلاسما با استفاده از دو چیدمان آزمایشگاهی متفاوت بررسی شده است.

۲- چیدمان آزمایش

برای انجام این آزمایش از دو چیدمان مختلف استفاده شده است. اولین چیدمان در شکل ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش از یک لیزر حالت جامد با طول موج ۱۰۶۴ nm، پهنای زمانی حدود ۳۰ ns و انرژی پالس حدود ۱۵۰ mJ استفاده شده است. پرتو لیزر با استفاده از عدسی همگرا با فاصله کانونی ۷ cm بطور عمود بر نمونه مس در هوا تابانده می شود. تابش پلاسمای حاصل از برهمکنش لیزر با مس بوسیله فیبر نوری پلاستیکی که در فاصله ۸ میلیمتری از پلاسما قرار دارد به طیف سنج نوری ارسال می گردد. قطر هسته فیبر نوری ۱ میلیمتر است. بازه طول موجی طیف سنج در فاصله ۴۹۰ nm تا ۶۹۰nm قرار دارد. جمع آوری و تحلیل داده ها توسط کامپیوتر انجام می شود.



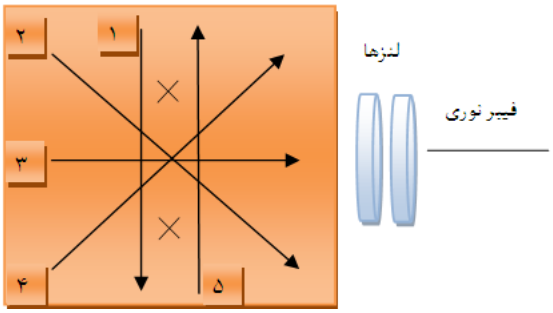
شکل ۱ : چیدمان آزمایش

از یک تاخیر انداز زمانی برای همزمان سازی پالس لیزر و ثبت داده ها استفاده می شود. بمنظور کاهش خطای اندازه گیری، نتایج ارائه شده در این مقاله از حدود ۱۵ بار اندازه گیری در هر حالت بدست آمده است. از دو آهنربای دایروی به قطر ۱ cm برای اعمال میدان مغناطیسی عرضی به پلاسما گردید. نمونه به نحوی میان آهنرباها قرار می گیرد که با هر دو آهنربا فاصله یکسانی داشته باشد و میدان مغناطیسی تقریبا یکنواخت ۰/۶ T روی آن ایجاد نماید. در دومین چیدمان از یک لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ nm، انرژی لیزر ۱۲۰ mJ، فرکانس ۱هرتز، پهنای پالس ۱۵ ns و قطر لکه ۲ mm می‌باشد. تابش پلاسمای حاصل توسط دو عدسی به فواصل کانونی ۳۵ mm و ۷۵ mm جمع آوری و روی دهانه فیبر نوری کانونی می شود و توسط طیف‌سنج Ocean Optics مدل HR4000 CG-UV-NIR که دارای قابلیت ثبت طیف در محدوده طول موجی ۱۲۰۰-۲۰۰ nm و قدرت تفکیک ۰/۲۷ nm می‌باشد، ثبت می‌شود. میدان مغناطیسی اعمال شده بر پلاسما در این آزمایش برابر ۰/۴ T می باشد.

بمنظور بررسی اثر راستای میدان مغناطیسی اعمال شده

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

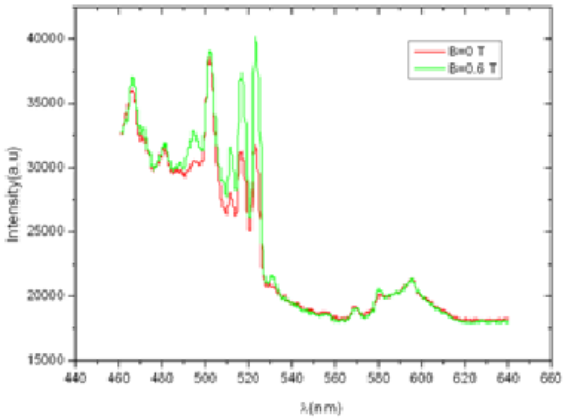
بر پلاسما، مکانیزمی طراحی گردید تا امکان دوران آهنرباها در صفحه هدف فراهم گردد. میدان در فاصله بین آهنرباها در حدود T ۰/۴ انتخاب گردید. شمای ساده ای از چیدمان آزمایشگاهی برای این منظور در شکل ۲ آورده شده است. شماره های ۱ تا ۵ در شکل به ترتیب راستای اعمال میدان مغناطیسی را نشان می دهند. پرتو لیزر بطور عمود بر صفحه به هدف بر خورد می کند و تابش پلاسما نیز از سمت راست بوسیله دو عدسی و فیبر نوری به طیف سنج فرستاده می شود.



شکل ۲ : نحوه شماره گذاری راستای میدان مغناطیسی. شماره های ۱ تا ۵ راستای میدان را مشخص می کنند. علامت ضرب جهت تابش لیزر بر روی هدف را نشان می دهد.

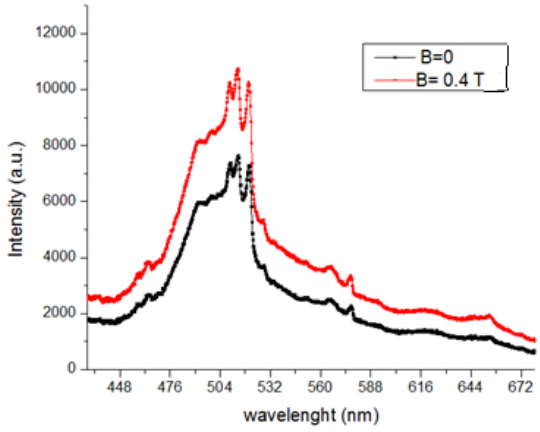
۳- نتایج

تابش طیفی پلاسمای مس حاصل از لیزر در حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی اندازه گیری شد. شکل ۳ خطوط طیفی مس حاصل از چیدمان آزمایشگاهی اول را در عدم حضور (رنگ قرمز) و حضور (رنگ سبز) میدان مغناطیسی نشان می دهد. کندوسوز لیزری هدف مس توسط لیزر با شار حدود J/cm^2 ۴ انجام شد. طیف تابشی مس توسط طیف سنج که توسط یک سیستم خارجی و فیبر نوری با تابش لیزر همزمان شده اند ثبت شده است. در این اندازه گیری خطوط طیفی مس (۵۲۰ nm، ۵۱۵ nm و ۵۱۰ nm) به وضوح مشاهده شدند. البته عناصر موجود در هوا نیز بدلیل برهمکنش با پالس لیزر و برخورد با پلاسمای مس یونیده می شود، ولی فرض می شود که پلاسمای هوا تاثیر چندانی بر اندازه گیری ها ندارد چرا که پلاسمای هوا بسیار کم چگال و با طول عمر کوتاه است. راستای میدان مغناطیسی خارجی در شکل های ۳ و ۴ با شماره ۱ در شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۳ : شدت خطوط طیفی LIBS نمونه مس در حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی

طبق شکل ۴، افزایش شدت خطوط طیفی پلاسمای مس پس از اعمال میدان مغناطیسی خارجی قابل مشاهده است. شکل ۴ خطوط طیفی مس حاصل از چیدمان دوم را در عدم حضور (رنگ مشکی) و حضور (رنگ قرمز) میدان مغناطیسی نشان می دهد. کندوسوز لیزری هدف مس توسط لیزر با شار حدود J/cm^2 ۳ انجام شد.

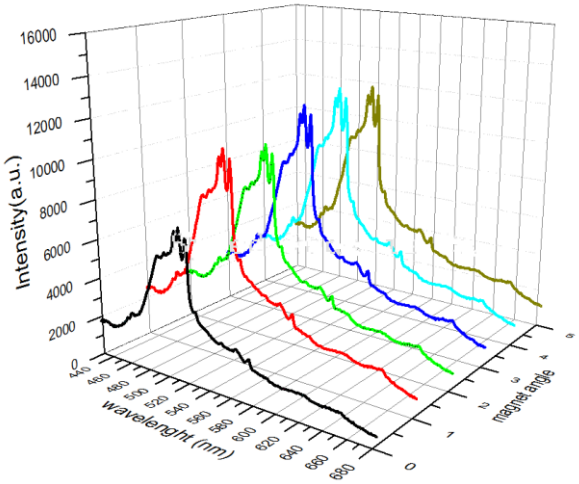


شکل ۴ : شدت خطوط طیفی LIBS نمونه مس در حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی

همانند آزمایش قبل، در این اندازه گیری نیز خطوط طیفی مس (۵۲۰ nm، ۵۱۵ nm و ۵۱۰ nm) به وضوح مشاهده شدند. طبق شکل ۳، میزان افزایش شدت خطوط طیفی پلاسمای مس پس از اعمال میدان مغناطیسی خارجی در چیدمان دوم بیشتر از چیدمان اول می باشد. هر چند بدلیل اینکه اکثر پارامترهای چیدمان های اول و دوم، از قبیل انرژی لیزر، پهنای پالس، میدان مغناطیسی و غیره، متفاوت هستند امکان اظهار نظر در خصوص علت اختلاف افزایش شدت تابش وجود ندارد. ولی بطور کلی

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

افزایش تابش طیفی احتمالا بدلیل محصور شدن مغناطیسی پلاسمای القای لیزری است. زمانی که یک میدان خارجی به پلاسمای القای لیزری اعمال می شود، نیروی لورنتس الکترون ها و یون ها را تحت تاثیر قرار می دهد و انبساط پلاسما کند می شود و باعث افزایش برخوردها می شود. بیشتر شدن برخوردها منجر به افزایش تعداد اتم های برانگیخته و در نتیجه افزایش شدت گسیل طیفی نمونه می شود. نتایج حاصل از این اندازه گیری با نتایج ارائه شده در مراجع [۴،۵] سازگار است. نمودارهای شکل ۵ نتایج حاصل از تاثیر راستای میدان مغناطیسی بر تابش طیفی پلاسمای مس را در چیدمان دوم نشان می دهد.



شکل ۵ : شدت خطوط طیفی LIBS نمونه مس در حضور میدان مغناطیسی به ازای راستاهای مختلف میدان مغناطیسی

در شکل ۵، ستون عمودی شدت تابش، یکی از ستون های در صفحه افقی طول موج و ستون دیگر که با اعداد یک تا پنج شماره گذاری شده است نشان دهنده ی راستای اعمال میدان مغناطیسی است. نمودار مربوط به عدد صفر طیف تابشی پلاسما در عدم حضور میدان مغناطیسی را نشان می دهد و راستای میدان در سایر نمودارها در شکل ۲ مشخص شده است. طبق نمودارها، افزایش شدت تابش در تمام راستاهای اعمال میدان مغناطیسی قابل مشاهده است و همچنین طبق اندازه گیری های انجام شده، تغییر راستای میدان در صفحه هدف تغییر چندانی در افزایش شدت تابش ایجاد نمی کند.

مراجع

[1] S. S. Harilal, M. S. Tillack, B. O'Shay, C. V. Bindhu, and F. Najmabadi, **Phys. Rev. E**, 69, (2004) 026413

[2] L. J. Radziemski and D. A. Cremers; "*Laser Induced Plasma and Applications*"; Dekker, New York. (1989)

[3] V. N. Rai, H. Zhang, F. Y. Yueh, J. P. Singh, and A. Kumar, **Appl. Opt**, 42, (2003) 3662

[4] X. K. Shen, Y. F. Lu, T. Gebre, H. Ling and Y. X. Han, *J.* **Appl. Phys**, 100, (2006) 053303

[5] Virendra N, et al, **Optical Society of America**, 42, (203)

[6] L.B Guo, W. Hu, B. Y. Zhang, X. N. He, C.M Li, Y.S. Zhou, Z.X. Cai, X.Y. Zeng and Y.F. Lu, **Optical Society of America**, 70, (2011)

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]